

Янин Е.П. Особенности химического состава и эколого-гигиеническая роль питьевых вод в условиях природно-техногенной гиперфторовой биогеохимической провинции // Экологическая экспертиза, 2012, № 2, с. 64–91.

Введение

Интенсивная эксплуатация подземных вод для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения обуславливает понижение их пьезометрического уровня и, как следствие этого, формирование депрессионной воронки, что вызывает изменение гидродинамических и геохимических условий в водоносных горизонтах. Это приводит к трансформации химического состава (изменению уровней содержания отдельных компонентов) и в конечном счете к глубокой метаморфизации (изменению химического класса) подземных вод, что, в свою очередь, определяет существенное ухудшение качества питьевых вод и сопровождается негативными эколого-геохимическими и гигиеническими последствиями. Особенно резко указанные последствия могут проявляться в районах развития гиперфторовых провинция. Как известно, фтор имеет большое значение для нормальной жизнедеятельности организмов и, что особенно важно, для жизни и здоровья человека [58]. В.В. Ковальский [29] считает этот галоген незаменимым для организмов элементом. А.П. Авцын и соавт. [2] включают фтор в группу так называемых «условно эссенциальных элементов», поскольку, по их мнению, незаменимость его все же нельзя считать окончательно доказанной. Авторы цитируемой работы убеждены, что защитный эффект фтора (например, при кариесе зубов и остеопорозе) следует рассматривать скорее как результат фармакологического действия этого элемента. А. Ленинджер [38] утверждает, что фтор – не лекарственный препарат, а эссенциальный (т. е. незаменимый, необходимый) элемент. А.П. Виноградов [12] относит фтор к химическим элементам, обуславливающим формирование интерзональных биогеохимических провинций и эндемий второго типа, не имеющих связи с какой-либо определенной почвенно-климатической зоной и встречающихся в различных регионах.

Сейчас достаточно надежно установлено, что биологическая «незаменимость» фтора проявляется в определенных интервалах содержания его в питьевой воде и пище, вернее, зависит от дозы элемента, поступающего в организм. Известны важнейшие заболевания, обусловленные дефицитом (гипофтороз) или избытком (гиперфтороз) этого элемента у человека и животных. Гипофтороз, прежде всего, характеризуется развитием остеопороза и кариеса зубов. Важнейшей формой проявления гиперфтороза является флюороз зубов и скелета. Результаты экспериментальных и эпидемиологических исследований свидетельствуют о существовании и других форм как гипо-, так гиперфтороза. Считается, что достаточным указанием на вероятность возникновения у человека гипо- или гиперфтороза является уровень содержания фтора в природных (питьевых) водах. Концентрации фтора менее 0,3–0,5 мг/л свидетельствуют о вероятности развития гипофтороза, тогда как уровень его в 1,5 мг/л и более является потенциально флюорозогенным, особенно в условиях жаркого **климата** [16].

В настоящее время в некоторых регионах мира формируются так называемые природно-техногенные гиперфторовые биогеохимические провинции [23, 24, 28, 31]. Очень часто их формирование связано с использованием для питьевого водоснабжения глубокозалегающих подземных вод, которые в химическом отношении обычно азональны к поверхностным геосферам. Изменения гидродинамических и геохимических условий в водоносных горизонтах, обусловленные активным водоотбором, приводят, как правило, к ухудшению качества подземных вод, в том числе, к увеличению в них концентраций фтора, что неизбежно проявляется в формировании очагов эндемического флюороза. Примером такой провинции служат центральные районы Мордовии, прежде всего, г. Саранск и его окрестности [9, 27, 28, 65, 67, 72].

Район и методика исследований

Для питьевого и промышленного водоснабжения г. Саранска используются подземные воды каменноугольных отложений Мордовского (Саранского) месторождения, которое относится к Инсаро-Мокшинскому гидрогеологическому району Сурско-Хоперского артезианского бассейна [19]. Основными структурными элементами осадочного комплекса здесь выступают Посоп-Ромодановская флексура, Иссинская и Сивиньская структуры. Важной особенностью основных водовмещающих карбонатных пород является их сильная трещиноватость и закарстованность, что определяет условия интенсивного питания водоносных горизонтов и обуславливает активную гидравлическую связь подземных и поверхностных вод. В комплексе верхнекаменноугольных пород водоносными являются известняки и доломиты, водоупорными – глины, мергели, плотные известняки. Среднекаменноугольные отложения в верхней части разреза представлены трещиноватыми известняками и доломитами, а в нижней части – переслаивающимися карбонатными породами, песчаниками и глинами. В районе Саранска пресные воды верхнего карбона залегают на глубине порядка 60–80 м, воды среднего карбона вскрыты на глубине 150 м. Водоносные горизонты нижнекаменноугольных карбонатных отложений достигнуты скважинами в пределах Сивиньской и Иссинской структур. На дневную поверхность каменноугольные породы выходят в области Алатырского поднятия и южнее [5, 6, 37]. Известны также изолированные выходы их по долинам рек Мокши, Сивини, Инсара и Иссы.

Водоснабжение г. Саранска обеспечивается одновременным функционированием трех водозаборов (водозаборных сооружений):

- Городского – расположен непосредственно в пределах города, первые скважины эксплуатируются с 1949 г., имеет площадной бессистемный характер, в состав входят 199 скважин; в его пределах рационально выделить ряд локальных водозаборных узлов (водозаборов) – Центральный (расположен в центральной части города), Резинотехника (северо-восточная часть города) и Октябрьский (юго-западная часть города).

- Пензятского – расположен в 9 км северо-западнее г. Саранска (в районе с. Блохино), протяженность вдоль р. Пензятки составляет около 17 км, эксплуатируется с 1969 г., в его состав входят 32 скважины.

- Руднянского – расположен в 29 км северо-западнее г. Саранска, функционирует с 1979 г., в его состав входят 29 скважин.

Водопроводная сеть в городе закольцована, ее протяженность – более 425 км.

На указанных пяти водозаборах (Центральном, Резинотехника, Октябрьском, Пензятском и Руднянском) в летний (июль) и осенний (октябрь) периоды 1991 г. были выполнены ежеднев-

ные (8 дней подряд в каждый период) наблюдения за химическим составом подземных вод (т.е. в общей сложности было исследовано 80 проб воды). Пробы воды на водозаборных сооружениях отбирались из предназначенных для этих целей кранов. Пробы питьевых вод отбирались из городской водопроводной сети (водозаборные краны в жилых помещениях и учреждениях, городские водозаборные колонки) примерно по равномерной сетке: в 1989 г. (лето) – 22 пробы; в 1990 г. (лето) – 30 проб; в 1991 г. (лето и осень) – соответственно 100 и 45 проб. Отбор (в белые полиэтиленовые канистры объемом 5 л) и предварительная обработка проб воды осуществлялись согласно рекомендациям [52].

Оценка влияния фтора на состояние зубочелюстной системы была проведена на основании осмотра детей стоматологом (Е.Е. Макагон), при этом оценивались показатели клинического проявления заболевания зубов – поражение их кариесом и(или) флюорозом. Обследовались дети в возрасте 5–6 лет (смешанный прикус зубов), посещающие детские дошкольные учреждения (ДДУ), которые расположены в пяти основных районах города (Центр, Северный, Заречный, Светотехника, Октябрьский). В качестве условно-контрольной была выбрана группа детей аналогичного возраста, проживающих в пос. Николаевке (южный пригород Саранска) и также посещающих ДДУ. Здесь жители поселка используют, кроме артезианских, грунтовые воды, отличающиеся сравнительно невысокими содержаниями фтора (до 0,4–0,6 мг/л) и более высокими, чем в подземных водах, уровнями кальция. Кроме того, структура питания жителей поселка отличается от таковой жителей города (наличие приусадебных участков). К тому же, по качеству состояния окружающей среды пос. Николаевка заметно отличается (в лучшую сторону) от городских районов. В каждом ДДУ было обследовано по 60 детей. Выбор указанной возрастной группы детей определялся следующими причинами. Прежде всего, длительное время считалось, что флюороз не поражает молочные зубы, по крайней мере, при смешанном прикусе он проявляется не так резко, как у детей с постоянным прикусом зубов. Сейчас, видимо, можно считать доказанным, что молочные зубы поражаются этим заболеванием, однако лишь при значительных концентрациях фтора в питьевой воде. По данным [4], интенсивность поражения может составлять от 2,1 до 23%. Поэтому представлялось важным оценить воздействие фтора на развитие флюороза у детей в возрасте 5–6 лет, во-первых, при содержаниях фтора в питьевой воде на уровне примерно 2 мг/л, во-вторых, в условиях промышленного города, отличающегося неблагоприятной экологической обстановкой. Безусловно, влияние фтора на детей в период активного формирования зубного и костного аппаратов имеет особое значение. Возможно, что именно данная возрастная группа детей является индикатором опасности поражения населения флюорозом. Предполагалось также, что выполненный комплекс исследований будет являться первым этапом программы всестороннего изучения распределения фтора в окружающей среде г. Саранска и его влияния на здоровье населения. К сожалению, по независящим от исполнителей причинам выполнением указанной программы было приостановлено. Для изучения концентрации фтора в биосубстратах детей в тех же ДДУ был проведен отбор проб мочи и волос. Волосы для анализа состригались с затылочной части на всю длину в количестве до 1,5 мг. Предварительная подготовка их к анализам заключалась в обработке (для снятия поверхностного загрязнения) детергентом (лаурилсульфат натрия) и спиртоэфирной смесью (для обезжиривания) [56]. Отбор проб мочи осуществлялся в полиэтиленовые емкости, обработанные 0,1 н. раствором азотной кислоты, с количественным учетом диуреза. Всего отобрано и исследовано 172 проб мочи и 160 проб волос.

Общий химический состав воды (главные ионы, соединения азота, окисляемость, сухой остаток, значения pH) исследовался по стандартным методикам [53]. Определение фтора в пробах воды, мочи и волос осуществлялось потенциометрическим методом (ион-селективный электрод, иономер ЗВ-340), мышьяка в воде – методом бумажной хроматографии в полевой лаборатории, как правило, не позднее 2–3 час. после их отбора. Растворенные формы Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb экстрагировались из воды (в день отбора проб) полимерным тиоэфиром; затем тиоэфирные осадки исследовались в стационарной лаборатории на содержание указанных металлов атомно-абсорбционным методом (ртуть – методом холодного пара). Для определения растворенных форм других химических элементов использовался количественный спектральный анализ (с применением малого камерного электрода) сухого остатка вод (полученного стандартным способом из 0,5 л воды).

Общие предпосылки для формирования фтороносных подземных вод в условиях Русской равнины

Среди фтороносных вод (т. е. вод с содержанием фтора более 1,5 мг/л) выделяют два основных типа, имеющих региональное распространение и являющихся носителями типичных свойств таких вод [31–33]. Первый тип представлен пластовыми водами структур, сложенных осадочными породами. В частности, они известны во многих артезианских бассейнах Русской равнины. Второй тип представлен трещинно-жильными гидрокарбонатными натриевыми и сульфатными натриевыми водами зон тектонической активизации в пределах массивов магматических и метаморфических пород. Типичными являются воды разломных зон кристаллических массивов (азотные термальные воды). В этих водах содержания фтора достигают нескольких сотен мг/л. В общем случае интенсивность концентрирования фтора в подземных водах определяется литолого-геохимическими особенностями водовмещающих горных пород [31, 32]. Поскольку содержания этого элемента в водах всегда гораздо меньше его кларковых уровней в породах, то любые водовмещающие толщи служат «неисчерпаемым источником» фтора для подземных вод. При благоприятных гидрогеохимических условиях практически любые существующие в конкретном бассейне природные подземные воды могут перейти в категорию фтороносных вод.

Типичные уровни содержания фтора в осадочных породах Русской равнины находятся в пределах 400–1010 мг/кг (кларк этого элемента в осадочных породах составляет 500 мг/кг [13]). По данным [51], в глинах среднекарбового бассейна указанной равнины средняя концентрация фтора достигает 1600 мг/кг. Исследования Ю.И. Ворошилова [14] показали, что в глинах содержания фтора приближаются к 1510 мг/кг, в породах гжельского яруса верхнего карбона они достигают в среднем 580 мг/кг, в породах среднего карбона (подольский и мячковский горизонты) – 810–850 мг/кг, заметно снижаясь в отложениях нижнего карбона. Важнейшим носителем фтора в каменноугольных отложениях Русской равнины является флюорит [40, 50, 51, 54]. По имеющимся данным, масштабы флюоритонности в ее пределах довольно значительны [57]. Установлено, что флюорит представлен тремя разновидностями, Это, во-первых, тонкорассеянный флюорит в виде бесцветных кубических кристаллов размером 0,04–0,08 мм. Во-вторых, ратовкит (землистый флюорит), приуроченный к зонам контакта палыгорскитовых глин и известняков и слагающий согласные и секущие прожилки протяженностью до 10 м и мощностью до 20 см, гнезда, налеты и примазки по трещинам, псевдоморфозы по остаткам ор-

ганизмов; в указанных породах содержание фтора может достигать 50–90%. Третья разновидность представлена темно-фиолетовым до почти бесцветного кристаллическим минералом, инкрустирующим стенки трещин, каверн выщелачивания и других пустот в карбонатных породах. Носителями фтора в осадочных отложениях карбона Русской равнины являются также фосфаты, слюды и глинистые минералы, фтор которых в большинстве случаев и создает основной геохимический фон [11, 40, 51, 61]. Например, его концентрации в довольно широко распространенных минералах карбонатных отложений – палыгорските и сепиолите – колеблются в пределах 800–7250 мг/кг [51]. Считается, что в процессе диагенеза фтор интенсивно перераспределяется внутри отложений, при этом значительная часть его связывается в апатите, а частично он входит в новообразованные минералы. В первую очередь из горных пород удаляется фтор водорастворимых соединений и(или) поровых растворов, в меньшей степени – фтор рассеянных фосфатов, а затем, по-видимому, фтор слюд и глинистых минералов. Как правило, водорастворимые, т. е. наиболее подвижные формы фтора в осадочных породах Русской равнины составляют первые проценты, иногда 12–15% от валового содержания. Таким образом, горные породы, слагающие русскую равнину и являющиеся водовмещающими для основных эксплуатируемых водоносных горизонтов, отличаются широкой распространенностью повышенных количеств различных форм фтора и потенциально определяют вероятность формирования фтороносных подземных вод.

Обычно во фтороносных водах осадочных пород количество фтора в сумме общей минерализации, как правило, не превышает 1%. Степень фтороносности вод возрастает с увеличением отношений $Na+K/Ca$, $rHCO_3+rCO_2/rCa+rMg$ и щелочности среды [34]. особенно благоприятны для концентрирования фтора высокощелочные натриевые малокальциевые воды. Кислые среды также способствуют увеличению содержания этого ингредиента в водах. Изменение $Na+K/Ca$ отношения определяет вероятность временных изменений концентраций фтора в зависимости от особенностей физико-химического и гидрогеологического режимов формирования подземных вод [33]. Временные колебания содержания фтора в подземных водах обусловлены не только изменением степени взаимодействия различных водоносных горизонтов (например, в процессе эксплуатации), но и изменением интенсивности физико-химического взаимодействия в системе «вода-порода». Свойство фтора быть универсальным аддендом определяет широкий спектр геохимических условий его перехода в воду при взаимодействии в указанной системе. Как правило, натриевые воды всегда недонасыщены фтором, причем при росте их минерализации наблюдается увеличение его концентраций. Ю.И. Ворошиловым [14] установлена определенная статистическая положительная связь между сульфатностью вод и уровнями в них фтора. По мнению автора цитируемой работы, значительная скорость водообмена и высокая выщелачивающая способность недонасыщенных фтором вод определяет вынос огромных масс этого элемента из горных пород. Существенное влияние на водообмен и соответственно на концентрацию фтора может оказывать интенсивная эксплуатация подземных вод (интенсивный водоотбор). Например, по расчетам Ю.И. Ворошилова [14], из подземных вод Московской области с питьевыми водами ежегодно извлекается до 1000 т фтора, а с учетом естественной разгрузки водоносных горизонтов карбона в реки суммарное его количество, извлекаемое подземными водами из горных пород, составляет 10000 т/год.

Как уже отмечалось выше, техногенные факторы могут способствовать существенному росту содержания фтора в подземных водах. В частности, установлено, что при активном эксплуатационном водозаборе происходит увеличение уровней содержания этого галогена в под-

земных водоносных горизонтах [33, 34]. Такие явления типичны для некоторых водозаборов Русской равнины, где концентрации фтора увеличились с околосредних до 2–20 мг/л. По мнению [33], главными (универсальными) причинами изменения качества подземных вод являются: а) прогрессирующее загрязнение их и б) процессы, вызываемые водоотбором. В отношении роста содержания фтора наиболее значимы именно процессы, спровоцированные забором воды. Интенсивный хозяйственный водоотбор вызывает снижение уровня подземных вод, перетекание подземных вод из других водоносных горизонтов, изменение объемных соотношений «порода-вода» в водоносном горизонте, что в конечном счете изменяет химический состав подземных вод и в большинстве известных случаев сопровождается повышением в них концентраций фтора. Последнее особенно характерно при направленной метаморфизации гидрокарбонатных кальциевых вод в хлоридные натриевые воды. Анализ изменения концентраций фтора при эксплуатационном отборе вод в одной из фторовых гидрогеохимических провинций (Молдавия) показал, что рост уровней содержания фтора происходит в соответствии с увеличением количества отбираемой воды. Например, на одном из водозаборов увеличение водоотбора с 3700 до 16500 тыс. м³/год (в течение 12 лет) вызвало возрастание концентраций фтора с 2 до 7 мг/л [33].

В общем случае анализ материалов Ю.И. Ворошилова, Э.Я. Жовинского, С.Р. Крайнова, В.В. Красинцевой, Л.В. Пустовалова, Н.М. Страхова, А.Н. Ронова и других исследователей показывает, что в природных условиях Русской равнины важнейшими факторами, определяющими вероятность формирования фтороносных подземных вод, являются:

- наличие горных пород, особенно среднекарбонного возраста, отличающихся относительно повышенными концентрациями фтора;
- разнообразие форм закрепления фтора в породах и присутствие в них определенных, нередко значительных его количеств в форме легкорастворимых соединений;
- миграционные особенности фтора и способность последнего относительно легко переходить из водовмещающих пород в воду в широком спектре геохимических условий;
- общая недонасыщенность фтором подземных вод и высокая выщелачивающая способность последних в отношении этого галогена;
- благоприятные гидрогеологические и гидрохимические условия, определяемые высокой скоростью водообмена и химическими типами вода;
- интенсивная эксплуатация подземных вод для целей промышленного и хозяйственно-бытового водоснабжения, что обуславливает активное взаимодействие различных водоносных горизонтов, усиливает скорость водообмена и интенсивность физико-химического взаимодействия в системе «вода-порода».

Все указанные факторы в той или иной степени проявляются на Саранском месторождении подземных вод.

Изменение химического состава подземных вод при их эксплуатации

Использование подземных вод в г. Саранске началось в 1900-х гг., когда были организованы буровые работы на воду и сооружены первые буровые колодцы [37]. Преобладающее количество последующих скважин имело глубину 50–120 м, которыми были вскрыты водоносные горизонты нижнемеловых и юрских отложений, а на глубине 106–140 м – мощные напорные воды верхнекаменноугольных отложений [5]. Особенно активно каменноугольные водоносные

горизонты стали эксплуатироваться с 1930-х гг. Имеющиеся незначительные ретроспективные данные свидетельствуют о том, что воды каменноугольных отложений характеризовались преимущественно гидрокарбонатным кальциевым (реже натриевым) составом, минерализацией около 400–800 мг/л, несколько повышенными содержаниями сульфатов, магния, иногда натрия, но в целом они отличались неплохим качеством [5, 19, 37] (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав подземных вод Инсаро-Мокшинского гидрогеологического района, мг/л [5, 19]

Район	Возраст пород (глубина, м)	Минерализация	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
Краснослободск	Сред. юра + верх. карбон	460	289	33	29	53	32,7	20,9
Чамзинка	Верх. карбон (171)	700	256	160	105	75	60,2	30,3
Сивинь	Сред. карбон (39,5)	540	329	49	32	91	33,7	-
Сивинь	Сред. карбон (192)	170	122	26	6	27	11	10
Сивинь	Сред. карбон (283)	446	329	66	48	64	26	62
Сивинь	Ниж. карбон (270)	410	207	6	44	75	23,6	4,8
Инсарский	Ниж. карбон (223,7-252,3)	570	158	183	56	24	3,6	94
Исса	Ниж. карбон (265)	800	316	171	170	69	4	204

Интенсивный водоотбор привел к срезке уровня подземных вод, который в пределах Саранска по данным на конец 1970-х гг. понизился примерно на 65 м [62] и достигнул горизонтов вод с повышенной минерализацией, высоким содержанием фтора и некоторых других ингредиентов. В настоящее время уровень подземных вод понизился на Руднянском водозаборе на 58 м, на Пензятском – почти на 72 м, на городских водозаборах – на 84 м. Радиус формирующейся депрессионной воронки (с центром в г. Саранске) уже превышает 85 км [21]. В 2009 г. она имела вытянутую форму, охватывала основные водозаборы г. Саранска и г. Рузаевки и оконтуривалась пьезоизогипсой 70 м, а наиболее глубокая часть (северная часть Городского водозабора) – пьезоизогипсой 55 м. В 2010 г. наиболее глубокая часть депрессионной воронки оконтуривалась пьезоизогипсой 60 м и располагалась в северной части Саранского городского водозабора [36]. Отмечено, что в условиях стабилизации водоотбора и уровня подземных вод эксплуатируемого водоносного горизонта тенденция понижения уровня подземных вод сохраняется, но его интенсивность замедляется, а при увеличении эксплуатационной нагрузки интенсивность понижения уровня возрастает.

Понижение пьезометрического уровня и формирование депрессионной воронки в пределах г. Саранска и его окрестностей обусловили значительное изменение химического состава подземных вод (табл. 2). Практически для всех изученных компонентов фиксируется заметное и, можно считать, направленное (во времени) увеличение концентраций. Исключение составляют гидрокарбонаты, для которых отмечается закономерное снижение содержаний. Наибольшее увеличение концентраций характерно для хлоридов, сульфатов, натрия и нитратов. Интенсивность изменения химического состава вод коррелирует с продолжительностью эксплуатации водозаборов: чем ближе к центру депрессионной воронки расположен эксплуатируемый водоносный горизонт, тем более сильно проявлены изменения в составе вод. В частности, наиболее длительно эксплуатируемые городские водозаборы (Центральный и Резинотехника) отличаются более высокой минерализацией подземных вод, высокими содержаниями в них хлоридов, сульфатов, натрия, аммонийного азота и нитратов. Минимальные значения указанных показателей характерны для вод водозаборов Руднянский и Пензятский (вскрытые ими воды по своему составу, видимо, пока еще близки к «естественным» водам). Воды, эксплуатируемые водозабором Октябрьский, занимают своеобразное промежуточное положение.

Таблица 2. Химический состав подземных вод Саранского месторождения, мг/л [27, 65, 67, 72]

Водозабор	Сезон	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Mg ²⁺
Руднянский	Лето	7,78	49	117	319	1,56	0,021	46
	Осень	7,75	38	80	339	1,68	0,420	24
Пензятский	Лето	7,71	58	109	298	1,60	0,014	38
	Осень	7,70	57	106	339	1,93	0,019	24
Октябрьский	Лето	7,76	199	264	294	2,04	0,011	56
	Осень	8,15	203	235	275	9,03	0,009	34
Центральный	Лето	7,70	235	265	283	2,41	0,016	64
	Осень	7,71	237	235	282	7,25	0,091	35
Резинотехника	Лето	7,69	308	269	257	2,55	0,017	59
	Осень	7,80	330	209	250	10,75	0,012	38
Среднее	Общее	7,78	171	189	294	7,10	0,063	42
	Лето	7,67	170	205	290	2,03	0,016	53
	Осень	7,82	173	173	297	6,13	0,11	31
Зона гипергенеза, среднее [60]		6,75	10,1	12,4	146	1,56	0,10	11,2

Окончание табл. 2

Водозабор	Сезон	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Ж	O ₂	F	CO
Руднянский	Лето	3,5	50	44	0,77	6,2	1,5	2,21	543
	Осень	4,5	58	51	0,49	5,9	2,4	1,55	513
Пензятский	Лето	3,2	53	54	0,42	5,5	1,9	2,14	551
	Осень	4,1	61	61	0,31	4,9	3,1	1,60	495
Октябрьский	Лето	5,9	66	153	0,96	7,9	1,9	2,81	910
	Осень	6,4	70	160	0,71	6,2	3,8	1,83	1011
Центральный	Лето	5,9	68	148	0,79	8,6	1,9	2,44	933
	Осень	6,2	81	166	0,61	6,8	4,2	2,25	1041
Резинотехника	Лето	6,7	73	187	1,02	6,8	2,5	2,64	1279
	Осень	7,2	84	212	0,73	7,2	4,2	2,45	1288
Среднее	Общее	5,3	66	124	0,68	6,6	2,7	2,19	856
	Лето	5,1	62	117	0,79	7	1,9	2,45	843
	Осень	5,7	71	130	0,57	6,2	3,5	1,94	870
Зона гипергенеза, среднее [60]		1,8	27,4	13,8	0,52	–	–	0,23	239

Примечание. Ж. – общая жесткость, мг-экв/л; O₂ – окисляемость перманганатная; CO – сухой остаток.

Увеличение суммарной минерализации подземных вод и соответственно рост содержания главных ионов (исключение – гидрокарбонаты) сопровождаются изменением соотношения эквивалентов последних (табл. 3). Фиксируется типичный для условий депрессионных воронок направленный переход естественных гидрокарбонатных кальциевых вод (по классификации О.А. Алекина [3]) в смешанные сульфатные натриевые (Октябрьский водозабор), а затем в метаморфизованные хлоридные натриевые (городские водозаборы) воды. Формируется региональная гидрогеохимическая аномалия, характеризующаяся постоянным или эпизодическим превышением нормативов по минерализации, фтору и жесткости, повышенными концентрациями хлоридов (уровни которых в отдельные дни наблюдений достигали нормативных величин), нитратов, сульфатов, натрия. Наиболее резко изменения химического состава подземных вод проявлены для центральной части депрессионной воронки (в пределах городской территории), где длительно эксплуатируемые воды из пресных перешли в солоноватые (минерализация превышает 1 г/л). Хорошо известно, что в условиях усиленного водоотбора возможен приток значительно более минерализованных вод из более глубоких водоносных горизонтов.

Присутствие в подземных водах высоких концентраций нитратов (в отдельные дни до 11–14 мг/л) свидетельствует о вероятности поступления их из зоны аэрации, особенно в областях питания водоносных горизонтов, а также при инфильтрации поверхностных вод в пределах промышленно-урбанизированных и сельскохозяйственных районов. В определенной мере повышенные уровни нитратов, как и других компонентов, могут быть обусловлены проникнове-

нием их из глубоких водоносных горизонтов или более интенсивным выщелачиванием из водо-
вмещающих пород [30].

Таблица 3. Соотношение между главными ионами в подземных водах Саранского месторождения [27, 68, 72]

Водозабор	Сезон	rMg / rCa	rNa / rCa	rSO ₄ / rCl	rNa / rCl	Класс, группа воды *
Руднян- ский	Лето	1,53	0,78	1,76	1,38	Гидрокарбонатный, магниевая (Ca ²⁺)
	Осень	0,68	0,77	1,55	2,07	Гидрокарбонатный, кальциевая (Na ⁺)
Пензят- ский	Лето	1,22	0,92	1,40	1,46	Гидрокарбонатный, магниевая (Ca ²⁺)
	Осень	0,63	0,87	1,37	1,65	Гидрокарбонатный, кальциевая (Na ⁺)
Октябрь- ский	Лето	1,38	2,01	0,98	1,18	Сульфатный, натриевая (Cl ⁻)
	Осень	0,80	1,99	0,85	1,22	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
Централь- ный	Лето	1,54	1,89	0,83	0,97	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
	Осень	0,71	1,78	0,73	1,07	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
Резино- техника	Лето	0,88	2,22	0,64	0,94	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
	Осень	0,73	2,20	0,48	0,99	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
Среднее	Общее	1,01	1,54	1,06	1,29	Хлоридный, натриевая (HCO ₃ ⁻)
	Лето	1,31	1,56	1,12	1,19	Хлоридный, натриевая (HCO ₃ ⁻)
	Осень	0,71	1,52	1,00	1,40	Хлоридный, натриевая (HCO ₃ ⁻)

* В скобках указан ион, эквивалент которого имеет высокое значение (приближается к эквиваленту преобладающего катиона или аниона).

Следует отметить, что территория г. Саранска и его окрестности характеризуются обилием родников как восходящих, так и нисходящих [42]. В ходе наблюдений, проводимых санитарно-эпидемиологической службой, было установлено ухудшение качества родниковой воды по мере приближения к городской черте и центру г. Саранска. Вода из родников, расположенных на территории города, характеризуется повышенным содержанием нитратов, общей микрофлоры и бактерий группы кишечной палочки. Источниками их поступления в родниковую воду являются загрязненная территория, свалки мусора, канализационные коллекторы. Большинство родников в городе и пригороде имеют территорию водосбора, находящуюся под огородами и сельскохозяйственными угодьями. Особенно сильно страдают нисходящие родники, питающиеся, в основном, атмосферными осадками. По данным [9], в воде колодцев, расположенных в различных районах г. Саранска, содержания нитратов достигали 60–216 мг/л, что в 1,3–4,8 раз выше ПДК, тогда как концентрации фтора в воде колодцев находились в пределах 0,4–0,6 мг/л. Высокие концентрации нитратов и ряда других компонентов установлены также в грунтовых водах поймы р. Инсар (табл. 4). По данным санитарных служб, контролирующих состояние родников г. Саранска, в 2010 г. родниковая вода превосходила обычную водопроводную воду по мягкости, содержала меньше железа и фтора [42].

Таблица 4. Химический состав грунтовых вод поймы р. Инсар ниже г. Саранска [9]

Компонент	Колодцы (11)	Неглубокие скважины (2)	Зона гипергенеза [60]
Фтор	0,3–1,4	0,3–1,8	0,23
Аммонийный азот	0–0,67	0,18–0,77	0,52
Нитриты	0–0,09	0–0,005	0,10
Нитраты	2–216	2–27	1,56
Фосфаты	0–0,66	0	0,05 *
Сульфаты	120–570	–	12,4
Хлориды	96–131	–	10,1

* Местный фон в речных водах [9].

В строении формирующейся региональной гидрогеохимической аномалии прослеживается выраженная гидрохимическая зональность, проявляющаяся максимальным увеличением ми-

нерализации, содержания главных ионов (за исключением гидрокарбонатов) и соединений азота в центральных частях депрессионной воронки. К ее периферии минерализация и уровни макрокомпонентов снижаются (концентрации гидрокарбонатов, наоборот, увеличиваются). В свою очередь, в направлении увеличения общей минерализации изменяются, как уже говорилось, соотношения между главными ионами, обусловленных возрастанием содержания в подземных водах сульфатов, хлоридов и натрия. Рост концентраций по направлению от загородных к городским водозаборам наблюдается и для некоторых металлов, например, для алюминия, железа, меди, цинка и олова (табл. 5) и фтора (табл. 6).

Таблица 5. Химические элементы в подземных водах Саранского месторождения, мкг/л [27, 67, 72]

Водозабор	Сезон	Al	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Sn	B	Mo	Li
Руднянский	Лето	217	2,9	49	93	14,4	12,8	1,3	313	1,03	52,7
	Осень	200	1,3	23	106	–	15,2	1,1	260	1,07	69,6
Пензятский	Лето	197	2	34	173	12,9	7,3	1,1	277	1,17	37,1
	Осень	250	2,2	29	390	–	10,4	0,9	266	1,51	63,3
Октябрьский	Лето	224	3,4	12	182	13,9	6,1	0,9	376	0,91	45,8
	Осень	353	2,4	22	127	–	19,6	2,5	461	–	46
Центральный	Лето	347	4,2	36	185	12,2	8,9	2,3	301	0,99	36,4
	Осень	450	3,5	37	104	–	11,8	2,1	309	0,99	70,6
Резинотехника	Лето	515	4,9	27	344	39,7	10,3	4,7	417	1,66	72
	Осень	400	2,9	73	882	–	48,2	4,4	467	1,88	105,9
Среднее	Общее	297	3	34,2	259	–	15,1	2,13	345	1,25	59,9
	Лето	300	3,5	32,6	195	18,6	9,1	2,06	337	1,15	48,8
	Осень	331	2,5	36,8	322	–	21,04	2,2	353	1,36	71,1
Зона гипергенеза [60]		190	6,96	34,3	424	4,0	30,3	0,35	35,4	1,16	6,2

Окончание табл. 5

Водозабор	Сезон	Ag	Cr	Ba	Cd	Si	Bi	As	Ni	Hg	Co
Руднянский	Лето	0,09	4,8	82,5	–	6,7	–	1,4	21,9	–	–
	Осень	–	2,0	69,5	–	6,0	–	–	57,4	0,12	–
Пензятский	Лето	0,08	4,6	53,0	0,17	5,2	0,07	2,5	31,2	–	2,0
	Осень	0,04	1,6	74,0	–	6,0	–	–	37,3	0,16	–
Октябрьский	Лето	0,15	11,0	–	–	3,5	–	–	16,7	–	–
	Осень	0,10	3,7	–	–	5,1	–	–	28,8	0,14	–
Центральный	Лето	0,12	3,4	–	–	4,0	–	2,0	32,2	–	3,6
	Осень	0,11	3,6	–	–	5,0	–	–	33,7	0,1	–
Резинотехника	Лето	0,11	5,0	–	0,7	4,5	1,84	2,0	29,8	–	–
	Осень	0,15	2,6	–	–	3,7	–	1,0	48,7	0,1	–
Среднее	Общее	0,106	4,23	69,8	–	5	–	1,78	33,8	–	–
	Лето	0,11	5,8	67,8	0,44	4,8	0,96	1,98	26,4	–	2,8
	Осень	0,10	2,7	71,8	–	5,16	–	1	41,2	0,124	–
Зона гипергенеза [60]		0,22	2,78	14,4	0,20	–	–	1,34	3,11	0,041	0,33

Таблица 6. Фтор в подземных и питьевых водах г. Саранска, мг/л [27, 65]

Выборка, год	Лето			Осень			2002 г. (данные СЭС г. Саранска)
	Среднее и его ошибка	Преде- лы	Кэффи- циент ва- риации, %	Среднее и его ошиб- ка	Преде- лы	Кэффи- циент ва- риации, %	
Водозаборы, 1991:							
Руднянский	2,11 ± 0,12	1,8–2,8	17	1,55 ± 0,05	1,4–1,6	7	1,56
Пензятский	2,14 ± 0,14	2,0–3,1	18	1,60 ± 0,07	1,4–1,7	9	2,06
Октябрьский	2,81 ± 0,16	2,5–3,5	16	1,83 ± 0,25	1,4–2,3	27	2,56
Резинотехника	2,64 ± 0,26	2,0–4,2	29	2,45 ± 0,13	2,2–2,8	11	2,63
Центральный	2,44 ± 0,24	2,0–4,0	28	2,25 ± 0,19	2,0–2,8	17	2,14
Среднее для водозаборов	2,43 ± 0,09	1,8–4,2	24	1,94 ± 0,10	1,4–2,8	24	2,19
Водопроводная сеть, 1991	2,06 ± 0,05	1,6–3,3	24	2,22 ± 0,07	1,4–3,0	15	–
То же самое, 1990	2,00 ± 0,12	1,0–2,5	22	–	–	–	–
То же самое, 1989	1,95 ± 0,11	0,8–2,6	24	–	–	–	–

В целом подземные воды Саранского месторождения характеризуются значительными (выше средних показателей для вод зоны гипергенеза) содержаниями Al, Cu, Sn, B, Mo, Li, Ba, Ni, а также эпизодическим появлением очень высоких концентраций Cd, Hg, Bi, Co. Если для значительной части металлов можно предположить повышение их концентраций за счет вероятного техногенного загрязнения, то для B, Li и Ba высокие содержания, заметно превышающие средние уровни в водах зоны гипергенеза, могут быть связаны с местными гидрогеохимическими особенностями и обогащением вод этими элементами в результате взаимодействия с горными породами в условиях неустойчивого гидродинамического режима, свойственного депрессионной воронки.

Отмеченные явления (рост концентраций и изменение соотношений между главными ионами, трансформация общего состава вод, формирование гидрогеохимической зональности) являются закономерным следствием промышленной эксплуатации водоносных горизонтов и в значительной мере связаны с изменением гидрогеохимических условий водоносных горизонтов, что отмечалось выше и достаточно детально описано в литературе [8, 14, 17, 20, 26, 49]. В частности, хорошо известно, что при интенсивном и неравномерно отборе подземных вод происходит увеличение водопроницаемости карбонатных пород за счет суффозии, процессов растворения и выщелачивания известняков, что интенсифицирует вынос многих макро- и микрокомпонентов, в том числе фтора. При понижении пьезометрического уровня вод, согласно существующей вертикальной гидрогеохимической зональности, в каменноугольных водоносных горизонтах отмечается увеличение кальция, магния, сульфатов, хлоридов и минерализации с глубиной. Выявлено также увеличение концентраций нитратов, нитритов, показателя окисляемости. Кроме того, в результате образования безнапорных зон наблюдается увеличение содержания различных микроэлементов. В ходе эксплуатации происходит нарушение изоляции водоносных горизонтов, что, с одной стороны, определяет вероятность поступления в них загрязненных поверхностных и грунтовых вод, с другой стороны, приносит из более глубоких горизонтов различные макро- и микроэлементы, в том числе в результате подтягивания вод к водозаборным скважинам.

Сезонные различия в химическом составе подземных вод, фиксируемые практически на всех водозаборах, во многом связаны с типичным для данных напорных вод гидрогеологическим режимом, а также с характерными для эксплуатируемых водоносных горизонтов преобразованиями геохимических свойств подземной среды и, отчасти, с различным по интенсивности сезонным техногенным загрязнением, особенно в пределах города. Потенциальная возможность загрязнения подземных вод в значительной степени определяется отмеченной выше высокой трещиноватостью и закарстованностью горных пород, а также существующей гидравлической связью поверхностных и подземных вод. Наиболее резкие сезонные изменения фиксировались для магния, фтора, нитратов, легкоокисляемой органики (количество которой характеризуется значениями перманганатной окисляемости). Более высокие концентрации нитратов отмечались, во-первых, осенью, во-вторых, в водах, вскрытых городскими и пригородными водозаборами. Для F, Mg, Ti, Cr и As более высокие уровни наблюдались летом и практически на всех водозаборах. Значения окисляемости были максимальными осенью. Для Al, Fe, Zn, Li, Ni более высокие концентрации характерны в осенний период. Осенью, как правило, наблюдается некоторое повышение уровня подземных вод, чему способствует не только осеннее подпитывание, но и определенное восполнение запасов вод за счет характерного для данного сезона снижения водоотбора, а также из-за инфильтрации воды из зоны аэрации. Воды вступают в контакт с гор-

ными породами, что обуславливает активизацию процессов выщелачивания из них соединений азота и таких элементов, как Al, Fe, Li, Ba. Осеннее подпитывание может также сопровождаться поступлением в водоносные горизонты загрязненных азотом и органическими веществами поверхностных вод или вод других горизонтов. В свою очередь, в таких условиях воды вступают в контакт с выше расположенными горными породами, как правило, обедненными фтором, что сопровождается созданием условий менее благоприятных для его водной миграции. Действительно, в летний период в исследованных водах фиксировался заметный рост Mg / Ca отношения. Как известно, вследствие различной растворимости фторидов Ca и Mg количество фтора в подземных водах увеличивается с ростом величины указанного отношения [33]. Таким образом, подземные воды г. Саранска, используемые в хозяйственно-питьевых и промышленных целях, отличаются своеобразным геохимическим обликом (гидрокарбонатные магниевые-кальциевые за пределами города и хлоридные натриевые в центре депрессионной воронки) и повышенными содержаниями ряда химических элементов, в том числе, фтора.

Отметим, что по официальным данным, в 1998 г. содержания токсических веществ в питьевой водопроводной воде Республики Мордовия, превышающих допустимые уровни, фиксировались в 20,1% всех исследованных проб, доля проб воды с превышением норматива по минерализации составляла 9,6% (среднее по России – 2,1%), по тяжелым металлам – 37,3%, по свинцу – 8,3% (среднее по России 0,6%) [43]. Питьевые воды Мордовии отличались повышенным содержанием железа. В 2008 г. доля проб воды из водопроводной сети Мордовии, не соответствующих нормативу по общей минерализации, составила 4,9%, а не соответствующих гигиеническим нормативам по содержанию химических веществ, нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку – 9,9% [46]. В 2009 г. удельный вес проб питьевых вод, не соответствующих гигиеническим нормативам по содержанию фтора, в Республике Мордовия составил 32,3% [47].

Особенности распределения фтора в подземных и питьевых водах

Согласно Л.Л. Щегловой [64], подземные артезианские воды в пределах Мордовии заметно различаются по уровню содержания фтора, средняя концентрация которого (по данным изучения 622 скважин) составляет 1,84 мг/л. При этом

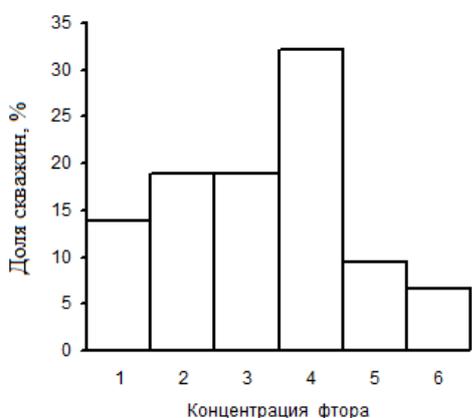


Рис. 1. Распределение водоисточников Мордовии по уровням содержания фтора, по [64].

Концентрация фтора в подземных водах, мг/л:
 1 – 0,1–0,5; 2 – 0,6–1,0; 3 – 1,1–1,5; 4 – 1,6–2,5;
 5 – 2,6–3,5; 6 – 3,6–10,0.

лишь примерно 38% водоисточников республики по уровням содержания этого элемента отвечают требуемым кондициям (рис. 1). По мере погружения каменноугольных пород под молодые отложения (в пределах Мордовии, как правило, с севера на юг) в подземных водах отмечается увеличение концентраций фтора с 0,2 до 10 мг/л. В этом же направлении, как показано выше, изменяется и химический состав вод (в сторону увеличения минерализации, хлорности, сульфатности и особенно содержания натрия). В большинстве случаев наиболее богатые фтором подземные воды отличаются сравнительно невысокими уровнями содержания кальция и магния и повышенными натрием. Концентрации фтора в подземных водах, как свидетельствует Л.Л.

Щеглова [64], стабильны в течение различных сезонов года, что, как следует из табл. 5 и 6, в действительности не так.

Сезонные и внутрисезонные колебания значений общей минерализации, концентраций некоторых главных ионов (сульфатов, гидрокарбонатов) и изменения соотношений между ними наиболее значимо проявлены в водах, эксплуатируемых загородными водозаборами. Это свидетельствует о существовании нестабильных гидрогеохимических условий в этих частях депрессионной воронки, что, видимо, достаточно типично для начального этапа эксплуатации подземных вод. Водоносные горизонты, вскрытые городскими водозаборами, отличаются меньшим варьированием концентраций главных ионов и минерализации, т. е. гидрогеохимический режим здесь более стабилен, а воды глубоко («полностью») метаморфизованы и обогащены фтором. В среднем количество фтора в подземных водах в сумме общей минерализации редко превышает 1%. Тем не менее они могут быть отнесены к особой разновидности так называемых фтороносных вод. В процессе эксплуатации водоносных горизонтов прослеживается тенденция роста содержания фтора в подземных и соответственно в питьевых водах, в которых уровни содержания его достаточно стабильно превышают верхнюю границу существующей ПДК этого элемента.

Водозаборы, расположенные в пределах города, закономерно отличаются более высокими концентрациями фтора в водах. Как правило, более яркая вариация распределения фтора как в пределах одного сезона, так и от сезона к сезону, проявлена для городских водозаборов. Обычно уровни этого элемента, наблюдаемые летом, превышают содержания его, фиксируемые в осенний период. Таким образом, чем ближе к центру депрессионной воронки расположен эксплуатируемый водоносный горизонт, тем выше в водах концентрации фтора, а также более значимы их временные колебания. Поскольку воды отличаются достаточно высокими концентрациями кальция (50–80 мг/л), то F/Ca отношение очень незначительно и в среднем колеблется в пределах 0,03–0,05, причем минимальные значения типичны для летнего периода, а максимальные для осени. Если для F/Ca отношения каких-либо территориальных различий практически не фиксируется, то для Na/Ca отношения характерны более высокие значения вне города, чем на городских водозаборах (соответственно 1,8–2,2 и 0,8–0,9), что подтверждает отмеченную выше трансформацию химического типа воды в центре депрессионной воронки. Глубокая метаморфизация химического состава подземных вод городских водозаборов отражается в значениях других гидрохимических коэффициентов.

Сезонные колебания концентраций фтора на различных водозаборах, по-видимому, обусловлены спецификой гидрогеохимического режима подземных вод в условиях их эксплуатации, а также особенностями их динамики и питания. Обычно содержания фтора в водах каменноугольных отложений тесно связаны с формированием общего химического состава этих вод [7, 31]. Например, известно, что в осеннее время, как правило, отмечается некоторое повышение уровня подземных вод, чему способствует не только осеннее подпитывание, но и определенное восполнение запасов вод за счет снижения водоотбора. С одной стороны, в таких условиях воды вступают в контакт с горными породами, обедненными фтором, с другой стороны, не исключено поступление вод с более низкими его содержаниями. Все это может сопровождаться созданием условий менее благоприятных для водной миграции данного компонента. Например, в летний период в подземных водах фиксируется заметный рост Mg/Ca отношения. Установлено, что вследствие различной растворимости фторидов кальция и магния количество фтора в подземных водах, содержащих кальций и магний, увеличивается с ростом величины

указанного отношения [33]. Однако, несмотря на то, что в осенний период до 20% проб подземных вод характеризуются концентрациями фтора менее 1,5 мг/л, в среднем концентрации его превышают существующий максимальный норматив.

Средние содержания фтора в подземных водах и в водах городского водопровода в целом довольно близки (соответственно 2,19 и 2,14 мг/л). Тем не менее, во-первых, летом концентрации его в подземных водах выше, нежели в водопроводной воде, тогда как осенью, наоборот, водопроводная вода отличается несколько более высокими уровнями этого компонента. Во-вторых, если в среднем концентрации фтора в подземных водах летом выше, чем осенью, то в водопроводной воде «осенние» содержания явно превышают «летние». Отмеченные явления могут быть связаны с неоднородностью подачи воды в водопроводную сеть от различных водозаборов, с образованием застойных участков в распределительной сети, с возможной подпиткой ее почвенно-грунтовыми водами. Не исключена также вероятность дискретного поступления фтора при растворении новообразований, осаждающихся на стенках труб водопроводов. В летнее время осуществляется более активное хлорирование питьевых вод, что приводит к увеличению содержания хлора, стимулирующего образование на стенках труб коррозионных отложений, способных фиксировать фтор. В литературе имеются указания на физико-химическую деградацию воды в распределительных системах, во многом связанную с осаждением различных химических веществ, например, оксидов железа, марганца, алюминия, алюмосиликатов и более сложных новообразований [76]. Известно, что водоразводящие сети г. Саранска отличаются довольно высоким физическим износом (более 60%), высокой аварийностью (2,15 аварии на 1 км труб), внутренней коррозией труб, которая сопровождается значительными отложениями оксидов железа, что способствует ухудшению качества воды, поступающей непосредственно потребителю [10].

Указанные явления, по-видимому, в значительной мере и определяют неоднородность распределения фтора в водопроводах различных районов города (табл. 7).

Таблица 7. Фтор в питьевых (водопроводных) водах различных районов г. Саранска и пос. Николаевки, среднее (интервал содержаний), мг/л [27, 65]

Район	Лето	Осень	Среднее
Центр	2,10 (1,6–3,3)	1,95 (1,4–2,5)	2,03 (1,4–3,3)
Заречный	2,50 (2,0–3,3)	2,45 (2,2–2,8)	2,48 (2,0–3,3)
Северный	2,31 (2,0–2,5)	2,10 (2,0–2,2)	2,21 (2,0–2,5)
Светотехника	1,99 (1,6–2,5)	1,90 (1,8–2,1)	1,95 (1,6–2,5)
Октябрьский	1,80 (1,5–2,5)	2,76 (2,0–3,0)	2,28 (1,5–3,0)
Юго-восточный	1,73 (1,6–2,0)	2,17 (1,8–2,5)	1,95 (1,6–2,5)
Город в целом	2,06 (1,6–3,3)	2,22 (1,4–3,0)	2,14 (1,4–3,3)
Николаевка	1,8 (1,7–2,0)	1,90 (1,8–2,1)	1,85 (1,7–2,1)

Так, в летнее время наиболее высокие концентрации его характерны для Центра, Заречного и Северного районов, более низкие – для районов Светотехника, Октябрьский и Юго-восточный. Показательно, что последние три района отличаются и заметно меньшей вариабельностью его содержаний в водопроводной воде. В среднем в указанный период концентрации фтора в питьевых водах города явно превышают его содержания в водопроводной воде пос. Николаевка. В осеннее время заметное увеличение средних параметров распределения фтора в питьевых водах города обусловлено главным образом ростом концентраций его в водопроводах Октябрьского и Юго-восточного районов, тогда как в Центре и Заречном районе они практически не изменились. Микрорайон Северный отличается достаточно значимым уровнем понижения

ем фтора в питьевых водах. Несмотря на некоторое увеличение, уровни фтора в питьевых водах пос. Николаевка по-прежнему ниже среднегородских.

По усредненным за изученные периоды данным практически во всех районах г. Саранска наблюдаются содержания фтора, превышающие 2 мг/л. При этом его максимальные уровни (2,48 мг/л) характерны для микрорайона Заречный, что, видимо, вполне закономерно, поскольку именно здесь расположен водозабор Резинотехника, отличающийся стабильно высокими концентрациями этого элемента в подземных водах. Анализ частоты встречаемости проб воды с различными содержаниями фтора показывает, что в среднем около 95% их количества характеризуется концентрациями, превышающими 1,5 мг/л, т. е. верхний уровень ПДК, установленной для этого элемента (табл. 8, рис. 2).

Таблица 8. Частота встречаемости проб вод с разными содержаниями фтора, % [27, 65]

Выборки, год	Кол-во проб	Интервалы содержания фтора, мг/л			
		менее 1,5	1,5–2	2–3	более 3
Водозаборы, лето	40	–	8	77	15
Водозаборы, осень	40	20	30	50	–
Водозаборы, общее	80	7	15	68	10
Водопровод, лето	100	3	39	53	5
Водопровод, осень	45	8	24	56	12
Водопровод, общее	145	4	36	54	6
Общая выборка	225	5	29	58	7
Водопровод, 1990	22	8	25	67	–
Водопровод, 1989	30	15	20	65	–

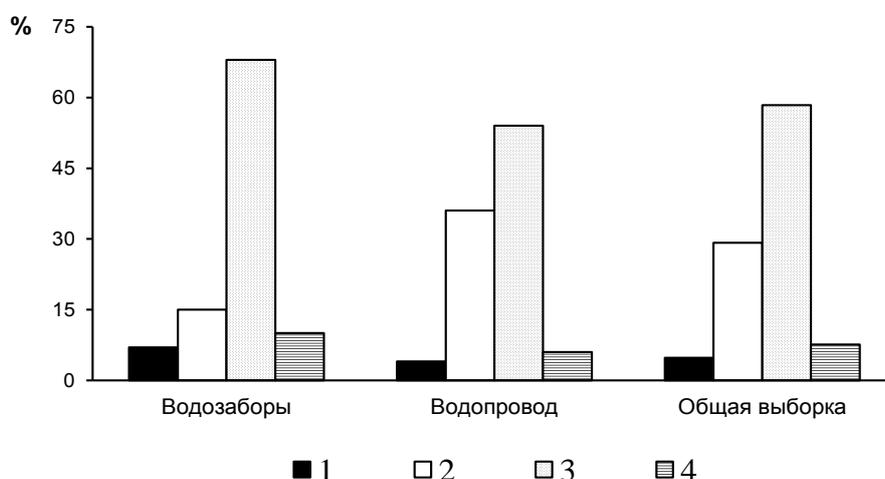


Рис. 2. Частота встречаемости (%) проб питьевых вод с различным содержанием фтора, г. Саранск [24, 53]. Концентрации фтора, мг/л: 1 – менее 1,5; 2 – 1,5–2; 3 – 2–3; 4 – более 3.

Наиболее типичные уровни наблюдаются в интервале содержаний от 2 до 3 мг/л. Обращает на себя внимание факт более частого появления высоких (> 3 мг/л) концентраций фтора в питьевых водах в 1991 г. по сравнению с предыдущими годами. В целом же результаты опробования питьевых вод из водопроводной сети города в 1989–1991 гг. свидетельствуют о явной тенденции увеличения в них концентраций фтора. Естественно, что для достоверного установления данной тенденции необходимы более детальные исследования с привлечением статистически обоснованных данных прошлых лет. Тем не менее, основываясь на известных в литературе примерах, можно предположить дальнейшее увеличение концентраций фтора в питьевых водах города. В первую очередь это может быть связано с идущей трансформацией химическо-

го состава подземных вод загородных водозаборов и с еще более глубоким преобразованием их геохимического облика в пределах города.

Таким образом, подземные (питьевые) воды города Саранска представляют собой своеобразную разновидность фтороносных вод, отличающихся повышенными содержаниями кальция, отчасти сдерживающего их флюорозоактивность, и специфическим геохимическим обликом (гидрокарбонатные магниево-кальциевые за пределами города и хлоридные натриевые в центре депрессионной воронки). Необходимо отметить, что сброс в канализацию таких вод после их использования в хозяйственно-бытовых и промышленных целях способствует техногенной метаморфизации поверхностных (речных) вод и увеличенной поставки в них различных химических элементов [69]. В г. Саранске с питьевыми водами из подземных горизонтов ежегодно извлекается до 70 т фтора [65].

В свое время Л.Л. Щеглова [64], основываясь на данных эпидемиологических исследований, показала, что в пределах Мордовии сформировалась биогеохимическая провинция, обусловленная повышенными содержаниями фтора в природных (грунтовых и подземных) водах. По данным автора цитируемой работы, на территории Мордовии у сельскохозяйственных животных достаточно широко распространен флюороз постоянных зубов. В среднем у 52% животных фиксировался флюороз I степени, у 38,6% – II степени и у 9,4% – III степени. Поражение зубов отмечалось при употреблении животными воды с содержанием фтора от 1,6 мг/л.

Влияние фтора на состояние зубочелюстной системы детей

Эпидемиологические исследования, выполненные Л.Л. Щегловой [64] в конце 1960-х гг. и основанные на обследовании 18220 детей в возрасте от 5 до 18 лет, проживающих в различных районах Республики Мордовия, показали, что 26,8% из них поражены флюорозом зубов, который регистрировался при употреблении питьевой воды с концентрациями фтора от 1 до 7,6 мг/л. В населенных пунктах с содержаниями данного химического элемента в питьевых водах на уровне 0,8 мг/л флюороз не отмечался. Было установлено, что с увеличением содержания фтора в питьевых водах доля детей, пораженных данным заболеванием заметно возрастала (табл. 9). У большинства больных детей фиксировался флюороз I степени, хотя в отдельных населенных пунктах наблюдался флюороз III (первые проценты) и IV (до 1%) степени. Как правило, флюороз II и III степени отмечался при концентрациях фтора в питьевых водах от 1,6 мг/л и выше, а IV степени – от 2,4 мг/л и выше. Наиболее чаще флюорозом поражались зубы детей в возрасте 7–10 лет (55,7% от числа пораженных). В районах с содержанием фтора в питьевых водах в пределах 2,4–7,6% флюороз зубов встречался у детей 5–6 лет, что свидетельствует о поражении молочных зубов.

Таблица 9. Частота поражаемости детей, проживающих в различных районах Мордовии, флюорозом зубов в зависимости от содержания фтора в воде [64]

Содержания фтора в питьевой воде, мг/л	Доля детей с флюорозом зубов, %
0,8	–
до 1,2	2,6
1,6–1,8	14
2,4	52
3,2	62
4,4	73,6
7,6	93

Так как концентрации фтора в природных водах Мордовии весьма разнообразны, а водисточники с повышенными уровнями его мозаично разбросаны по всей территории республики, то эндемии флюороза, приуроченные к этим источникам, носят очаговый характер и отличаются большой пестротой в отношении тяжести поражения. В большинстве случаев указанные очаги эндемии формируются при использовании для хозяйственно-питьевых целей глубокозалегающих подземных вод, которые в геохимическом отношении не типичны для природных ландшафтов региона. Тем не менее флюороз фиксировался и в районах с повышенным содержанием фтора в грунтовых (колодезных) водах. Например, высокие концентрации этого элемента в грунтовых водах обусловили развитие в с. Паракино Больше-Березняковского района ярко выраженного очага эндемии флюороза зубов. Поскольку в большинстве случаев прогрессирующий рост концентраций фтора в эксплуатируемых подземных водах напрямую связан с активным водоотбором, меняющим гидрогеохимические условия и способствующим более активной миграции фтора, то можно утверждать, что в центральных районах Мордовии, особенно в пределах Саранска, формируется природно-техногенная биогеохимическая провинция, с которой связаны эндемии флюороза.

Изучение уровней распределения фтора в биосубстратах детей, выполненное в 1990–1991 гг. [9, 27, 28, 65], показало, что в целом по городу его содержания в моче более чем у 80% детей превышают нормальный уровень, у 72% – физиологический уровень и у 27% – допустимый уровень (табл. 10). У нескольких обследованных детей отмечено превышение критического уровня. Максимальные содержания фтора типичны для детей, проживающих в Центральном и Заречного районах Саранска, где соответственно у 93 и 79% из них в моче наблюдается превышение этим элементом физиологического уровня, а у более половины – допустимые значения. Именно здесь отмечены содержания фтора, достигающие и превышающие верхний нормативный уровень его в питьевых водах.

Таблица 10. Фтор в моче детей [27, 65]

Район	Кол-во проб	Фтор, среднее (пределы), мг/л	Доля проб (%), концентрации фтора в которых превышают уровень:			
			нормальный (= 0,8 мг/л)	физиологический (= 1,5 мг/л)	допустимый (= 2 мг/л)	критический (= 4 мг/л)
Центр	30	2,21 (1,26–4,10)	97	93	50	3
Заречный	24	2,17 (1,12–3,72)	92	79	54	–
Северный	28	1,57 (0,72–2,30)	68	64	14	–
Светотехника	31	1,46 (0,98–2,32)	65	52	6	–
Октябрьский	25	1,67 (1,00–2,40)	80	72	16	–
Город в целом	138	1,82 (0,98–4,10)	80	72	27	0,6
Николаевка	34	1,30 (0,60–2,40)	44	29	3	–

В летнее время концентрации фтора в пробах питьевой воды, отобранных в данных районах, довольно стабильно превышали 2 мг/л. Необходимо отметить, что с экологических позиций Центр города является одним из наиболее загрязненных районов Саранска, а в Заречном микрорайоне возможно дополнительное воздействие «атмосферного» фтора, присутствующего в выбросах завода резинотехнических изделий. В двух других районах города, Северном и Октябрьском, уровни фтора в моче у 14–16% детей превышают допустимый, а у 64 и 52% (соответственно) физиологический уровень. Эти районы отличаются достаточно высокими, особенно Северный, содержаниями фтора в питьевой воде. К тому же, микрорайон Северный испытывает явное влияние техногенных источников загрязнения, а микрорайон Октябрьский характеризуется неблагоприятными социально-бытовыми условиями [9]. В частности, здесь расположены

многочисленные общежития. Показательно, что оценка состояния здоровья детей дошкольного возраста, выполненная в Мордовии в 2009–2010 гг., показала, что более чем у половины из них (по данным диспансеризации) имеются различного рода функциональные нарушения, а самые низкие показатели практически здоровых детей 4–7 лет от общего числа детского контингента данного возраста наблюдались в Октябрьском районе г. Саранска (13,4%) [22].

Наименьшая интенсивность биоконцентрирования фтора в моче характерна для детей, проживающих в микрорайоне Светотехника, отличающегося, с одной стороны, несколько меньшим уровнем фтора в питьевой воде, а с другой стороны, более однородным сезонным его распределением.

Самые низкие уровни в моче и меньшая интенсивность концентрирования фтора фиксируется у детей, проживающих в пос. Николаевке, где соответственно только у 44%, 29 и 3% детей содержания этого элемента превышали соответственно нормальный, физиологический и допустимый пределы концентрации. По подсчетам, суточное поступление фтора в организм детей поселка может быть в 1,5–2 раза меньше, нежели у городских детей, прежде всего, из-за использования в питьевых целях грунтовых вод, отличающихся – в сравнение с артезианскими (здесь тоже характеризующихся меньшим уровнем фтора, нежели в пределах Саранска) – более низкими концентрациями фтора (0,4–0,6 мг/л). Кроме того, общая экологическая ситуация в поселке заметно благоприятнее, нежели в городе. Априори предполагается, что дети поселка употребляют в пищу большее количество свежих овощей и фруктов (наличие приусадебных участков), богатых витамином С и кальцием, нивелирующих негативное влияние фтора. Поскольку в среднем уровни фтора в питьевых водах, стабильно превышая ПДК, отличаются незначительными площадными (в масштабах города) вариациями, поэтому, видимо, и не наблюдается принципиальных различий в особенностях биоконцентрирования данного элемента в разных районах г. Саранска, хотя, как было показано выше, специфичность последних в интенсивности концентрирования его в моче детей все же прослеживается. В частности, фиксируется явная тенденция появления наиболее высоких содержаний фтора в моче (и соответственно более частое превышение нормативных уровней) именно в тех районах города, где в питьевых водах наблюдаются экстремальные концентрации этого химического элемента (до 3,3 мг/л – в Центре и Заречном районе). Это, в свою очередь, может быть обусловлено большим «питанием» водопроводной сети указанных городских районов за счет поступления воды с водозаборов Центральный и Резинотехника, отличающихся стабильно высокими уровнями фтора в подземных водах.

Анализ данных по особенностям концентрирования фтора в волосах детей тех же районов показывает (табл. 11), что в среднем по городу у 42% детей его содержания превышают условно-фоновый уровень, а у 7% условно-допустимый уровень. Максимальные концентрации фтора в волосах отмечены у детей, проживающих в районе Северный, где у 80% из них наблюдается превышение условно-фонового, а у 23% – условно-допустимого уровня. Остальные районы города по среднему концентрированию фтора в волосах мало различаются. Тем не менее по интенсивности превышения условных нормативов фиксируется примерно такая же ситуация, как и в случае с распределением фтора в моче. В частности, довольно близки (по относительной доле детей, в волосах которых фтор превышает фоновый уровень) районы Заречный и Центр; далее следуют район Октябрьский, где у 23% детей наблюдается превышение условно-фонового уровня и у 18% условно-допустимого уровня, а также район Светотехника (у 24% детей фиксируется превышение условно-фонового уровня). Минимальные концентрации фтора

характерны для детей, проживающих в пос. Николаевке. Оценка средних значений фтора, концентрирующегося в биосубстратах детей различных районов, с помощью критерия Стьюдента выявила достоверное отличие (превышение) «аномальных выборок» (городские районы) от условно-контрольной выборки (пос. Николаевка).

Таблица 11. Фтор в волосах детей [27, 65]

Район	Кол-во проб	Среднее (пределы), мкг/г	Доля проб (%), концентрации фтора в которых превышают уровень:	
			фоновый (72 мкг/г)	допустимый (150 мкг/г)
Центр	28	59,6 (10–180)	39	–
Заречный	28	68,2 (10–200)	43	4
Северный	30	105,3 (10–260)	80	23
Светотехника	22	60,0 (20–90)	24	–
Октябрьский	30	59,0 (10–220)	23	7
Город в целом	138	70,4 (10–260)	42	7
Николаевка	22	48,6 (20–100)	18	–

Таким образом, дети, проживающие в городе Саранске, испытывают повышенную фторовую нагрузку на организм, обусловленную главным образом присутствием этого элемента в питьевых водах. Гиперфтороз находит свое выражение в специфическом поражении зубов, в том числе молочного прикуса, флюорозом.

Результаты обследований выбранного контингента детей дошкольного (5–6 лет) возраста, отличающихся смешанным прикусом зубов, свидетельствуют (табл. 12), что заболеваемость городских детей кариесом зубов в среднем составляет 55,3%, изменяясь от 46,6% (в Центре) до 63,3% (район Северный). В пос. Николаевке заболеваемость кариесом отмечена у 73,3% детей. Статистическое сравнение (коэффициент Стьюдента) различных выборок выявило достоверное увеличение (превышение) поражения кариесом зубов детей поселка в сравнении с детьми, проживающими в городе (в среднем), и особенно в сравнении с районами Октябрьский, Светотехника и Центром. Таким образом, видимо, более высокое потребление фтора детьми города играет известную антикариозную роль. В то же время, повышенное потребление фтора определяет тот факт, что у городских детей фиксируется флюорозное поражение молочных и постоянных зубов, тогда как у детей, проживающих в пос. Николаевке, указанное заболевание не обнаружено.

Таблица 12. Распространенность и степень проявления флюороза и кариеса у детей [27, 65]

Район	Доля детей с признаками пятнистости эмали зубов, %				Доля детей с кариесом зубов, %
	Всего	I степени	II степени	III степени	
Центр	8,3	1,6	1,6	3,3	46,6
Заречный	21,6	18,3	3,3	–	65,0
Северный	21,6	18,3	3,3	–	63,3
Светотехника	3,3	1,6	1,6	–	53,3
Октябрьский	3,3	–	1,6	1,6	48,3
Город в целом	11,7	7,9	2,3	1,0	55,3
Николаевка	–	–	–	–	73,3

В целом по городу флюороз зубов фиксируется у 11,7% детей, причем у 7,9% наблюдается развитие флюороза I степени, у 2,3% – II степени, у примерно 1% – III степени. Интенсивность проявления заболевания в различных районах города в определенной степени отражает уровень его содержания в питьевой воде и особенности концентрирования в биосубстратах детей. Наиболее интенсивное проявление детского флюороза установлено в районах Заречный и

Северный (21,6%). Именно здесь отмечены более высокие концентрации фтора в моче и волосах детей. В центральных частях города флюороз фиксируется у 8,3% детей, однако у 3,3% из них наблюдалось поражение зубов флюорозом III степени. Наименьшая интенсивность флюорозного поражения зубов характерна для детей, проживающих в районах Светотехника и Октябрьский, где отмечались и наименее низкие уровни фтора в биосубстратах. Эти районы города отличаются также и меньшими содержаниями фтора в питьевой воде летом (Октябрьский) и в целом за изученные периоды (Светотехника). В то же время, более высокие зимние уровни фтора в питьевых водах района Октябрьский (наряду с неудовлетворительными социально-бытовыми условиями) возможно находят свое отражение в том, что именно здесь встречаются флюорозные поражения зубов II и III степени.

Таким образом, приводимый материал свидетельствует о негативном влиянии повышенных доз фтора на здоровье детей изученной возрастной группы. Можно предположить, что у детей старших возрастных групп интенсивность проявления флюороза будет более сильной. Действительно, по данным Республиканской стоматологической поликлиники, флюороз среди детей и подростков, потребляющих воду с содержанием фтора 4,8–5,0 мг/л, составляет 85%, с содержанием 2–2,6 мг/л – 72,1%, 1,2 мг/л – 11,9%. Согласно [21], в г. Саранска пораженность детей дошкольного возраста флюорозом достигает 12,0%, детей старшего возраста – 70,0% (по [43] – 72,1%). Согласно официальным данным [44], повышенное содержание фтора в питьевой воде Республики Мордовии обуславливает заболеваемость не только флюорозом, но и костно-мышечной системы. Так, если в 1995 г. заболеваемость костно-мышечной системы составляла 30,3 на 1000 жителей, то в 2002 г. она увеличилась до 35,7 на 1000 жителей. Наиболее высокий уровень указанной заболеваемости отмечался в трех районах Республики и в г. Саранске, где концентрации фтора превышают предельно допустимые в 2–3 раза. Дети, проживающие в г. Саранске, отличаются снижением адаптационной способности бронхолегочной и сердечно-сосудистой систем.

Хорошо известно, что дети особенно чувствительны к избытку фтора. Так, у 7–15 летних детей замедляется рост, у 13–15-летних задерживается половое развитие [15]. В последние годы получены данные, свидетельствующие о том, что избыточные дозы фтора, поступающие в организм с питьевой водой, оказывают негативное влияние на интеллектуальное развитие детей [74]. Токсическое действие фтора может быть более выраженным из-за неблагоприятных социально-бытовых (в некоторых районах города) и экологических условий, характерных для г. Саранска в целом, отличающегося высоким уровнем загрязнения окружающей среды [9, 66, 68, 73, 75]. В атмосферный воздух Саранска выбрасывается порядка 200 наименований веществ, 50 из которых являются веществами I и II класса опасности [30]. Предварительное сопоставление характера накопления в биосубстратах детей фтора и ряда тяжелых металлов с интенсивностью проявления у них флюороза показало, что при более высоких уровнях кадмия в волосах и ртути в моче развитие гиперфтороза было явно более сильным [28]. Существующие данные свидетельствуют о том, что подземные воды Саранского месторождения характеризуются низкими концентрациями йода (менее 0,02 мг/л) [10, 30, 48, 55]. Несмотря на то, что поступление йода с питьевой водой в его балансе в организме человека составляет ничтожную долю (основным источником йода для человека являются пища, особенно растительного происхождения) [41], данный факт, судя по всему, еще более усложняет сложившуюся здесь эколого-гигиеническую ситуацию или, по крайней мере, требует своего изучения.

Необходимо отметить, что гигиенические последствия смены химического типа, увеличения минерализации и жесткости воды на фоне возрастающих концентраций фтора изучены слабо. Речь идет не о влиянии питьевых вод с повышенной минерализацией и увеличенной жесткостью на человека – этот вопрос неплохо рассмотрен в литературе, а о влиянии достаточно быстрого изменения общего химического типа питьевых вод. Длительное время для жителей г. Саранска типичной питьевой водой являлась гидрокарбонатная кальциевая с относительно невысокими минерализацией и общей жесткостью. В настоящее время значительная часть городского населения употребляет в питьевых целях хлоридные натриевые воды с повышенной минерализацией, увеличенной жесткостью и, к тому же, отличающихся высокими концентрациями фтора и ряда металлов. С этой точки зрения интересны данные, приводимые авторами [63], которые в экспериментальном исследовании в качестве биологического тест-объекта использовали белых беспородных половозрелых крыс – самок массой 180–200 г. Длительность эксперимента составила 1 месяц. Контрольную группу составили 15 самок, которые потребляли фасованную негазированную питьевую воду «Аквामинерале», сбалансированную по содержанию микро- и макроэлементов. Опытную группу составили также 15 самок, в качестве питья получавшие воду из центральной системы водоснабжения г. Саранска. Анализ водопроводной воды показал превышение по сравнению с ПДК общей жесткости воды (8,22 мг/л; ПДК – 7 мг/л), а также содержания фтора (1,85 мг/л; ПДК – 1,5 мг/л), железа (0,34 мг/л; ПДК – 0,3 мг/л), магния (72,9 мг/л; ПДК – 40 мг/л), натрия и калия (201,45 мг/л; ПДК натрия – 200 мг/л). Было установлено, что внешний вид животных опытной группы существенно не отличался от животных контрольной группы, однако замечена несколько излишняя подвижность животных опытной группы. Результаты гематологических показателей крови опытной группы показали увеличение по сравнению с контролем содержания эритроцитов на 11,7%, содержания лейкоцитов на 54,2%, содержания гемоглобина на 4,2 %, скорости оседания эритроцитов на 70%, общего белка на 19,4%, мочевины на 4,3%, креатинина 113% ($p \leq 0,05$). Авторы приходят к выводу, что повышенное содержание микро- и макроэлементов в питьевой воде влияет на гематологические показатели крови и на общее состояние организма экспериментальных животных. По данным [30], питьевые воды Мордовии, отличающиеся высокими содержаниями фтора, магния и повышенной общей жесткостью, способствуют росту у населения заболеваний пищеварительной, мочевыделительной, нервной, эндокринной и других систем. По данным [18], в 2000–2004 гг. наиболее худшие показатели качества питьевых вод установлены в центральной части Мордовии (г. Саранск, г. Рузаевка, Кочкуровский, Лямбирский, Рузаевский районы). В г. Саранске практически во всех отобранных пробах питьевых вод отмечалось превышение нормативных показателей по жесткости и общей минерализации в 1,2–1,5 раза, фтору в 2–2,5 раз, хлоридам – до 1,2 раза, железу общему – 1,5–5 раз. В Кочкуровском районе в 80% исследуемых источников (31 населенный пункт) содержания фтора превышали ПДК в 1,2–2,4 раза, железа в 70% превышали ПДК в 3–5 раз, сухой остаток – 1,1–1,3. Авторы цитируемой работы полагают, что фактор качества питьевой воды играет определенную роль в ухудшении здоровья населения. В частности, в 2001 г. в Мордовии общая заболеваемость подростков в возрасте 15–17 лет по сравнению с 2000 г. увеличилась на 3%, а по сравнению с 1999 г. – на 7,4%. Преобладают заболевания органов дыхания, пищеварения, мочеполовой и эндокринной систем. Согласно [10], в г. Саранске из-за длительного воздействия питьевой воды существует высокий риск заболеваний органов кровообращения, пищеварения, эндокринной системы, мочевыводящих путей. В частности, отмечается рост заболеваемости населения города болезнями мочеполовой системы, которые сей-

час фиксируются у каждого 6–7 жителя. В 2002–2007 гг. в структуре заболеваемости населения Республики Мордовия болезни мочеполовой системы прочно занимали 3 ранговое место после болезней органов дыхания и травм. Если заболеваемость злокачественными новообразованиями в Мордовии (на 100000 человек населения) в 1948 г. составляла 45,5, в 1957 г. – 66,0, 1967 г. – 102,6, 1977 г. – 160,8, 1987 г. – 239,8, 1995 г. – 282,2, 2000 г. – 293,8, 2003 г. – 317,6, в 2006 г. – 349,6, т. е. за период с 1948 по 2006 гг. она выросла в 7,6 раз. [39].

Высказывается мнение [42], что в г. Саранске и его окрестностях снизить концентрацию фтора в питьевых водах можно с помощью обесфторивающих установок на водозаборных сооружениях или введения в эксплуатацию новых скважин, являющихся источниками воды с пониженным содержанием фтора. В частности, в 2008 г. в с. Лемдьяй Старшайговского района Мордовии были введены в эксплуатацию три артезианские скважины с низким содержанием фтора в воде, вследствие чего произошло смешение воды Пензятского и Руднянского водозаборов и, как следствие, содержание фтора в воде, подаваемой населению северо-западного района, части юго-западного, центрального и северо-восточного районов г. Саранска, снизилось до нормируемых величин [42, 46]. Есть все основания полагать, что данное уменьшение концентраций фтора в питьевых водах носит временный характер, поскольку по мере увеличения интенсивности водоотбора содержания этого элемента неуклонно будут возрастать. Необходим поиск дополнительных путей решения столь насущной для значительной территории Мордовии проблемы – проблемы обеспечения населения качественной питьевой водой.

Заключение

Интенсивная эксплуатация подземных вод для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения г. Саранска обусловила формирование в центральных районах Мордовии депрессионной воронки, что привело к изменению гидродинамических и геохимических условий формирования состава вод и к ухудшению (с утилитарной точки зрения) их качества. Это проявилось, прежде всего, в трансформации химического состава подземных вод, вплоть до их глубокой метаморфизации и перехода из типичных (зональных) гидрокарбонатных кальциевых в хлоридные натриевые воды. Степень изменения химического состава вод коррелирует с продолжительностью периода эксплуатации водоносных горизонтов. В строении активно формирующейся региональной гидрогеохимической аномалии прослеживается определенная зональность с максимальным увеличением минерализации, жесткости, концентраций главных ионов (за исключением гидрокарбонатов), фтора, соединений азота и некоторых других химических элементов в центральных частях депрессионной воронки. В направлении роста общей минерализации изменяются соотношения между главными ионами, обусловленные существенным возрастанием в подземных водах концентраций сульфатов, хлоридов и натрия.

Важнейшей особенностью изменения состава подземных (питьевых) вод является возрастание концентраций фтора, уровни которого в большинстве случаев превышают верхнее пороговое значение существующей ПДК. Флюорозоактивность обогащенных фтором вод отчасти сдерживается повышенными концентрациями в них кальция. Тем не менее результаты исследований свидетельствуют о развитии у жителей города флюороза зубов, в том числе у детей со смешанным прикусом зубов. Полученные данные позволяют утверждать, что в центральных районах Мордовии формируется природно-техногенная гиперфторовая биогеохимическая провинция, генезис которой обусловлен как естественными причинами (повышенные концентра-

ции фтора в глубокозалегающих артезианских водах и его потенциальные «запасы» в водовмещающих горных породах), так и техногенными факторами (интенсивный водозабор, изменяющий гидрогеохимические условия и в существенной мере интенсифицирующий накопление фтора и других компонентов в водах).

В литературе встречаются указания на то, что чем больше доля подземных вод в питьевом водоснабжении, тем у населения ниже уровень всех видов заболеваний, причем в качестве примера приводится Республика Мордовия (см., например, [59]). Приводимые выше сведения свидетельствуют о том, что данное указание явно не соответствует действительности. Безусловно, в каждом конкретном случае необходимы специальные исследования качества питьевых вод. Тем более что гиперфторовые биогеохимические провинции (и соответственно очаги эндемического флюороза) известны во многих регионах России: территории с повышенным содержанием фтора в питьевых водах встречаются в Мурманской, Тверской, Рязанской, Кировской, Свердловской, Челябинской, Иркутской областях и других регионах [1, 2, 25, 71]. В последние годы наибольший удельный вес проб питьевых вод, не соответствующих гигиеническим нормативам по содержанию фтора, стабильно отмечается в ряде районов и городов Вологодской, Московской, Нижегородской, Новосибирской, Рязанской, Тверской областей, в Республике Ингушетия, Еврейской автономной области, Чукотском и Ямало-Ненецком автономных округах [43–45, 47]. Кроме того, в условиях техногенного загрязнения окружающей среды фтором создается опасность повышенного поступления его в организм человека [30д]. Все это, в сущности, и определяет необходимость проведения в указанных регионах соответствующих исследований, а также практических мероприятий, направленных на снижение возможного негативного влияния водного фтора на здоровье населения.

Литература

1. *Авцын А.П., Жаворонков А.А.* Патология флюороза. – Новосибирск: Наука, 1981. – 335 с.
2. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С.* Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. – М: Медицина, 1991. – 496 с.
3. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
4. *Арутюнов В.Д., Бабель И.В., Белякова Т.М., Жаворонков А.А.* Флюороз как биогеохимическая эндемия, связанная с избыточным содержанием фтора в природных водах // Микроэлементы в ландшафтах Советского Союза. – М.: Изд-во МГУ, 1969, с. 194–203.
5. *Афанасьев Т.П.* Подземные воды Среднего Поволжья и Прикамья и их гидрохимическая зональность. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 262 с.
6. *Афанасьев Т.П., Макаренко Ф.А.* Геохимическая зональность подземных вод Русской платформы // Изв. АН СССР, сер. геол., 1971, № 1, с. 121–133.
7. *Белицкий А.С., Николаева Т.А.* Закономерности распределения фтора в водах каменноугольных отложений Подмосковной палеозойской котловины // Сов. геология, 1955, № 44, с. 78–86.
8. *Бочеввер Ф.М., Ковалева И.В.* Эксплуатационный режим подземных вод в Московском артезианском бассейне // Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии. – Минск: Наука и техника, 1978, с. 119–129.
9. *Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижанкин С.А. и др.* Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г. Саранска. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 115 с.

10. *Бурлакова Т.И.* Аналитическая записка «Питьевая вода РМ, проблемы, пути решения» // <http://sov13.ru/info.php?info=18&page=>.
11. *Бушинский Г.И.* Апатит, фосфорит, вивианит. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 90 с.
12. *Виноградов А.П.* Биогеохимические провинции // Тр. юбилейной сессии, посвященной столетию со дня рождения В.В. Докучаева. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949, с. 59–81.
13. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия, 1962, № 7, с. 565–571.
14. *Ворошилов Ю.И.* Геохимия фтора в водах карбона Московского артезианского бассейна. – М.: Недра, 1972. – 96 с.
15. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V–VIII групп: Справ. изд. – Л.: Химия, 1989. – 592 с.
16. *Габович Р.Д.* Фтор и его гигиеническое значение. – М.: Медицина, 1957. – 360 с.
17. *Гаврюхина А.А.* Формирование подземных вод под влиянием искусственной разгрузки. – М.: Наука, 1964. – 102 с.
18. *Гамаюнова А.А., Басихина Л.А., Кучеренко Н.Я., Самкаева Л.Т.* Качество питьевой воды и здоровье населения // Фундаментальные исследования, 2005, № 6, с. 70.
19. Гидрогеология СССР. Поволжье и Прикамье. Т. XIII. Ч. 1. – М.: Недра, 1970. – 800 с.
20. *Гольдберг В.М.* Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
21. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Мордовия в 2001 году. – Саранск: Комитет природных ресурсов по Республике Мордовия, 2002. – 243 с.
22. *Грызлова Л.В., Додайкина, М.Н., Митюшин В.В., Шебанова С.Н.* Особенности состояния здоровья детей дошкольного возраста в Республике Мордовия // В мире научных открытий, 2010, №4 (10), ч. 14, с. 91–92.
23. *Ермаков В.В.* Биогеохимические провинции: концепция, классификация и экологическая оценка // Основные направления геохимии. К 100-летию со дня рождения академика А.П. Виноградова. – М.: Наука, 1995, с. 183–196.
24. *Ермаков В.В., Конова Н.И., Грицаенко Т.А., Дутов В.М.* Природно-техногенные биогеохимические провинции, обогащенные фтором // Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – Самарканд, 1990, с. 25–26.
25. *Ермаков В.В., Сафонов В.А., Грицаенко Т.А., Хабаров В.Б.* Гиперфтористые биогеохимические провинции // Развитие идей континентальной биогеохимии и геохимической экологии: Мат-лы VI–XII Биогехим. чтений, посв. памяти В.В. Ковальского (2006–2010 гг.). – М.: ГЕОХИ РАН, 2010, с. 22–39.
26. *Злобина В.Л.* Влияние эксплуатации подземных вод на развитие карстово-суффозионных процессов. – М.: Наука, 1986. – 133 с.
27. *Кашина Л.И., Янин Е.П.* Природно-техногенная биогеохимическая провинция, обогащенная фтором, в центральных районах Мордовии // Вторая Российская школа «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы». Мат-лы (тезисы, доклады, воспоминания). – М.: ГЕОХИ РАН, 1999, с. 193–194.
28. *Кашина Л.И., Янин Е.П.* Природно-техногенная гиперфторовая биогеохимическая провинция в центральных районах Мордовии (формирование, геохимические особенности, эколо-

гические последствия) // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Труды Биогеохимической лаборатории, т. 24). – М.: Наука, 2003, с. 157–173.

29. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974. – 299 с.

30. Козин Н.Д., Степанов Н.А., Цыбусов А.П. Социально-гигиеническая характеристика условий жизнедеятельности и охрана здоровья населения Мордовии // Актуальные проблемы регионального здравоохранения: Мат-лы Всеросс. научн.-практ. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004, с. 19–21.

31. Крайнов С.Р., Петрова Н.Г. Фтороносные подземные воды, их геохимические особенности и влияние на биогеохимические процессы // Геохимия, 1976, № 10, с. 1533–1541.

32. Крайнов С.Р., Петрова Н.Г. Фтороносные подземные воды (в связи с проблемами водоснабжения) // Советская геология, 1976, № 9, с. 113–120.

33. Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. – М.: Недра, 1987. – 237 с.

34. Крайнов С.Р., Швец В.М. Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1992. – 463 с.

35. Кудрявцева Н.А. Некоторые закономерности в распространении минерализованных вод на Окско-Цнинском вале // Вопросы геохимии подземных вод. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1969, с. 109–127.

36. Кудряшова О.Ф. Современное состояние окружающей среды на территории городского округа Саранск. Аналитический обзор информации по городскому округу Саранск по материалам Государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия» в 2009-2010 году // http://www.sardkhhb.ru/documents/publications /environment_cert_20111019.pdf.

37. Ланге О.К. Подземные воды СССР. Ч. 1. – М.: Изд-во МГУ, 1953. – 270 с.

38. Ленинджер А. Основы биохимии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 1056 с.

39. Меркулова С.В., Мартынова В.В., Кузнецова Е.Н. Влияние качества окружающей среды на онкозаболеваемость населения в Республике Мордовия // <http://geoeko.mrsu.ru/2008-1/pdf/18-merkulova.pdf>.

40. Минералы: Справочник: Т. 2. Вып. 1. Галогениды. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 296 с.

41. Москалев Ю.И. Минеральный обмен. – М.: Медицина, 1985. – 288 с.

42. Муниципальная целевая программа «Благоустройство и контроль экологического состояния родников и общественных колодцев на территории городского округа Саранск на 2011-2015 годы» (Утв. Постановлением Администрации городского округа Саранск от 18 мая 2011 г. № 1213) // http://sardkhhb.ru/upload/iblock/3ba/programma_rodnik_20110707.pdf.

43. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 1998 году: Государственный доклад. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 222 с.

44. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2002 году: Государственный доклад. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 221 с.

45. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2007 году: Государственный доклад. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 397 с.

46. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2008 году: Государственный доклад. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 467 с.
47. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2009 году: Государственный доклад. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 456 с.
48. *Пикалов И.Н.* Цель нашей работы – защита здоровья и прав человека // Известия Мордовии, 27 марта 2008 г., с. 4.
49. *Погребняк И.Ф.* Подземные воды Нечерноземной зоны Среднего Поволжья и проблемы их использования // Новые данные по геологии и гидрогеологии Нечерноземной зоны Поволжья. – М.: Геол. фонд РСФСР, 1980, с. 110-120.
50. *Пустовалов Л.В.* Ратовкит Вехнего Поволжья. – М.: Изд-во АН СССР, 1937.
51. *Ронов А.Б., Гирин Ю.П., Ермишкина А.И. и др.* Геохимия фтора в осадочном цикле // Геохимия, 1974, № 11, с. 1587–1612.
52. Руководство по контролю качества питьевой воды: Т. 1: Пер. с англ. – Женева-Москва: ВОЗ-Медицина, 1986. – 126 с.
53. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.
54. *Рухин Л.Б.* Основы литологии. – Л.: Гостоптехиздат, 1961. – 779 с.
55. *Сажин И.* Право на экологическую безопасность // Права человека в Российской Федерации: докл. о событиях 2007 г. – М.: Моск. Хельсинк. группа, 2008, с. 221–233.
56. Скрининговые методы для выявления группы повышенного риска среди рабочих, контактирующих с токсичными химическими элементами. – М.: МОНИКИ, 1989. – 23 с.
57. Флюорит (ресурсы, закономерности образования и размещения). – М.: Наука, 1976. – 288 с.
58. Фтор и фториды: Пер. с англ. – Женева–Москва: ВОЗ–Медицина, 1989. – 114 с.
59. *Челидзе Ю.Б.* Изменение основных показателей водопользования, режима и качества подземных вод, возможные последствия // Геоэкологические исследования и охрана недр. Науч.-техн. информ. сб. – М.: Геоинформмарк, 2001, вып. 1, с. 36–41.
60. *Шварцев С.Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
61. *Швецов М.С.* Петрография осадочных пород. – М.: Госгеолтехиздат, 1958. – 416 с.
62. *Шишков Ю.Ф.* Возможность использования искусственного восполнения запасов подземных вод на территории Среднего Поволжья // Новые данные по геологии и гидрогеологии Нечерноземной зоны Поволжья. – М.: Геол. Фонд РСФСР, 1980, с. 124–129.
63. *Шубина О.С., Смертина Н.А.* Влияние качества питьевой воды на показатели крови // Современные наукоемкие технологии, 2009, №3, с. 88.
64. *Щеглова Л.Л.* Фтор в природных водах Мордовии и его гигиеническое значение: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. – Уфа, 1970. – 23 с.
65. *Янин Е.П.* Фтор в питьевых водах города Саранска и его гигиеническое значение. – М.: ИМГРЭ, 1996. – 58 с.
66. *Янин Е.П.* Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 281 с.

67. Янин Е.П. Трансформация химического состава подземных вод при их эксплуатации для водоснабжения города Саранска // Геологический вестник центральных районов России, 1999, № 1-2, с. 37–41.
68. Янин Е.П. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды города Саранска. Состав техногенного загрязнения // Экологический вестник Мордовии, 2002, № 1, с. 25–33.
69. Янин Е.П. Изменение химического состава и техногенная метаморфизация речных вод в промышленно-урбанизированных районах // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2006, № 3, с. 2–27.
70. Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза, 2007, № 4, с. 2–98.
71. Янин Е.П. Биогеохимическая роль и эколого-гигиеническое значение фтора // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2009, № 4, с. 20–108.
72. Янин Е.П. Изменения химического состава подземных вод в условиях интенсивного водоотбора (на примере Саранского месторождения) // Отечественная геология, 2009, № 2, с. 47–53.
73. Янин Е.П. Место работы родителей как возможный фактор гигиенического риска для детей // Медицина труда и промышленная экология, 2009, № 6, с. 37–39.
74. Янин Е. П. Фтор в питьевых водах и его влияние на интеллектуальное развитие детей // Экологическая экспертиза, 2010, № 3, с. 57–65.
75. Янин Е.П. Особенности накопления тяжелых металлов в волосах детей в условиях промышленного города // Экологическая экспертиза, 2011, № 4, с. 112–116.
76. Montiel A., Rigal S., Mouchet P. Degradations physico-chimiques de l'eau dans reseaux de distribution // Techn., sci., meth., 1992, № 6, p. 299–306.